

LITOS

nº 55
Julio / July
2.001

La revista de la Piedra Natural
The Natural Stone sector magazine

Internet edition - www.litosonline.com



SPANISH GOLD



FLAMED
SPANISH
GOLD

La nueva solución propuesta por
ROMANENSE DE MARMOLES

**FABRICA Y OFICINAS: Ctra. Novelda S/N - 03669 LA ROMANA
(ALICANTE) ESPAÑA**

TLFS./FAX: +34 965 696 611 - +34 965 696 539

E-MAIL: sales@romanense.es - <http://www.romanense.es>

LITOS

Nº 55, Julio / July 2.001

Director: Anil Taneja
 Editora: Leonor Mate Peña
 Administración: Teresa González

DIRECCIÓN / ADDRESS

Plaza Ángel Carbajo, 6, 9º B
 28020-MADRID (SPAIN)
 Tel.: 34-91 570 5419 Fax: 34-91 570 9855
 E-mail: litosweb@teleline.es
litos@litosonline.com
Edición Internet: www.litosonline.com

COLABORADORES:

Cureses, Miguel Fabregues, Paulo L. Florio,
 Jorge Franz, C. Kaliannan, Shigeto Kondo,
 Jeffrey Matthews, Vicente Ysamat.

IMPRIME: GRAFISTAFF

EDITA: PUBLICACIONES LITOS, S.L.
 CIF: B-81492597 Depósito Legal: M-13456-1.992

Precio por ejemplar / Unit price: 1.500.-Ptas.

PRECIO SUSCRIPCIÓN / SUBSCRIPTION PRICE

España: un año: 8.200.-Ptas., dos años: 16.000.Ptas.,
 tres años: 23.800.-Ptas. (IVA incluido).

FUERA DE ESPAÑA / OUTSIDE SPAIN

	superficie surface mail	via aérea air mail
un año / one year	70Euros	150Euros
dos años / two years	140 "	300 "
tres años / three years	210 "	450 "

LITOS no comparte necesariamente las opiniones de
 sus colaboradores. Prohibida la reproducción de los
 artículos sin permiso.
*All rights reserved. Reproduction of articles forbidden
 without permission.*



Miembro de
Interstone Press
 Member of

Sumario / Contents

Página / Page

Animómetro <i>Moralemeter</i>	4
La Bolsa <i>Stockmarket index</i>	6
LIP	8
TEKTÓNICA 2001, Lisboa / Lisbon	10
I Congreso Nacional de Marmolistas de Arte Funerario <i>I National Congress of Spanish Stonemasons in Funerary Art</i>	18
Coverings 2001, New Orleans	26
Importación y exportación de piedra en Israel, 2.000 <i>Stone imports and exports in Israel, 2000</i> Asher Shadmon	35
Las rocas en la construcción monumental: su deterioro y técnicas de intervención (II) <i>The rocks in monumental construction: deterioration and techniques of intervention (II)</i> Pérez Montserrat, E. & Baltuille Martín, J.M.	42
STONE+TEC 2001, Nüremberg	60
MARMOTEC 2001, Carrara	74
Noticias del sector <i>News from the sector</i>	84
Oportunidades de Negocio <i>Business Opportunities</i>	96
Productos Nuevos <i>New Products</i>	98

**Las rocas en la construcción
monumental:
Su deterioro y técnicas de intervención
(2ª parte : técnicas de intervención)**

***The rocks in monumental construction:
Deterioration and techniques
of intervention
(Part 2: intervention techniques)***

Pérez Monserrat, E. & Baltuille Martín, J.M.

Area de Rocas y Minerales Industriales. Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Madrid.

jm.baltuille@igme.es

ETAPAS DE INTERVENCIÓN

A la hora de intervenir en un edificio o monumento histórico han de contemplarse las etapas de limpieza, protección-conservación y restauración, no siendo siempre las tres necesarias. Tan importante es cada una de las etapas como el mantenimiento continuado, la conservación preventiva, que minimiza o evita los factores de alteración, y la conservación activa, en la que se registran los parámetros medioambientales y contaminantes atmosféricos en el entorno del edificio, para garantizar una evolución positiva de las intervenciones y conseguir la durabilidad aceptable de los tratamientos aplicados.

Es aconsejable la realización de mapas de litologías, patologías e intervenciones sobre planos del edificio o monumento en el que se va a intervenir. En un mapa de litologías se representan todas las tipologías de materiales de construcción que han sido empleados. El mapa de patologías recoge el deterioro que presentan cada una de estas litologías; para su realización, prestaremos especial atención a las esquinas, a las zonas donde se concentre una mayor humedad y a los elementos salientes; es muy aconsejable superponer estos dos mapas. Por último, el mapa de intervenciones representa de una forma muy sintética las operaciones realizadas.

STAGES OF INTERVENTION

At the time of intervention in a building or historical monument, one has to consider the stages of cleaning, protection-conservation and restoration, the three not always being necessary. Each one of the phases is as important as continuous maintenance, preventive conservation, that minimises or avoids the factors of alteration, and the active conservation, in which the environmental parameters and atmospheric contaminants around the building are measured, so as to guarantee a positive evolution of the interventions and achieve the acceptable durability of the applied treatment.

The realisation of maps of litologies, pathologies or interventions over plans of the building or monument to be intervened, is advisable. In the map of litology, all the typology of construction materials which have been employed, are represented. The map of pathologies puts together the deterioration that is present in each one of the litologies, and for their realisation we will pay special attention to the corners, to the areas where the greatest humidity is concentrated and the salt elements: it is highly recommendable to use these two maps. And last, the map of interventions represents in a highly synthetic form the operations realised.

El grado de detalle de cada uno de los mapas dependerá del conocimiento del especialista que los realice; deben ir acompañados de una memoria además de la leyenda correspondiente y suelen hacerse varios mapas de cada uno de los tipos.

Se han de llevar a cabo estudios previos sobre el soporte pétreo antes de decantarse por un método o por un producto. Según Parrot (1990), se debe caracterizar la roca y determinar el pH de su agente cementante, y realizar ensayos para determinar la evolución, durabilidad y posibles efectos secundarios del producto.

1.- LIMPIEZA

Su objetivo es eliminar la suciedad superficial y los productos nocivos. Es una etapa de vital importancia ya que a veces les la única intervención que se realiza, y el principal problema que presenta la limpieza es su irreversibilidad.

La limpieza condiciona y ha de ser compatible con las posteriores etapas de intervención. Una limpieza debe mejorar la percepción estética, pero sobre todo debe evitar o frenar el deterioro del material pétreo.

Antes de proceder con la limpieza, se deben realizar dos operaciones si el estado de la roca así lo aconsejara. Una sería preconsolidar la roca si está muy descohesionada, atenuadamente para no consolidar también la suciedad o patología. La otra sería desalinizar, porque no eliminar completamente las sales actúa en detrimento del comportamiento de posteriores tratamientos.

Tipos de suciedad

La suciedad sobre el material pétreo aparece como una capa persistente y de espesor más o menos regular en donde se mezclan productos de distinta naturaleza sin distinguirse entre sí. Carbonell de Massy (op. cit.) distingue los siguientes productos:

Humo y polvo: partículas formadas por cenizas, aceites sólidos no quemados y procedentes de la erosión de materiales sólidos.
Manchas: eflorescencias, zonas de deslavado,

The degree of detail of each one of the maps depends on the knowledge of the specialist who does it; they should be accompanied, moreover, by a memory of the corresponding legend and normally several maps of each one of the types is made.

Previous studies need to be done on the stone support before deciding on one or the other method or a product. According to Parrot (1990), the rock should be characterised and the pH determined of the cementing agent, and tests should be done for determining the possible secondary effects of the product.

1. - CLEANING

Its object is to eliminate the surface dirt and the harmful products. This is a stage of vital importance since sometimes it is the only intervention that is done, and the main problem of cleaning is its irreversibility.

The cleaning conditions and must be compatible with the later stages of intervention. The cleaning should improve the aesthetic perception, but above all should avoid or stop the deterioration of the stone material.

Before proceeding with the cleaning, two operations should be realised to see if the state of the rock makes it advisable. One is the pre-consolidation of the rock if it is very decohesioned, but lightly so as not to consolidate also the dirt or pathology. The other is desalting, because not eliminating the salts completely would be in detriment to the behaviour of the stone in later treatments.

Types of dirt

The dirt on the stone material appears as a persistent layer and of more or less regular thickness where the products of distinct types are mixed without distinction. Carbonell de Massy distinguishes between the following products:

*Smoke and dust: particles formed by ash, solid oils that are not burnt and proceeding from the erosion of solid materials.
Spots: florescence, areas of colour loss, spots*

manchas por disolución de elementos metálicos de la estructura, por sprays y pintadas, etc. Sustancias de origen biológico: vegetación y microfauna.

Costras y restos de antiguos tratamientos

Métodos de limpieza

Antes de la intervención, se han de considerar los aspectos que determinarán la elección del método, y éstos son:

Valor o interés histórico-artístico de la obra y su estado de conservación

Factores relativos a la roca: su naturaleza físico-química, textura, propiedades técnicas y petrofísicas y comportamiento ambiental en el entorno donde se encuentra ubicada.

Factores relativos a la sustancia a eliminar: naturaleza, tipo, extensión y grosor de la misma.

Velocidad de la acción limpiadora tal que el operario pueda controlar sus efectos

El método no ha de generar productos perjudiciales para la piedra y el operario, ni modificaciones superficiales que faciliten el deterioro de la misma.

No existe un producto limpiador universal, para cada tipo de material se deben usar productos específicos, ocasionando la mínima segregación del material pétreo y disolución del agente cementante (Parrot, op. cit.). A continuación veremos los principales métodos de limpieza, nos centraremos en los mecánicos por ser los más conocidos y utilizados.

Mecánicos

Estas técnicas separan la suciedad del material pétreo a limpiar empleando la energía mecánica que se genera al proyectar abrasivos. Es muy importante que la separación tenga lugar justo en la interfase suciedad-superficie de la piedra.

Chorro de arena

Este método ha estado por tiempo muy desprestigiado porque antes se utilizaba de manera descontrolada y las partículas abrasivas tenían los cantos angulosos.

due to dissolution of metallic structure elements, to sprays and paints, etc. Substances of biological origin: vegetation and microfauna.

Crusts and remains of previous treatments.

Cleaning methods

Before the intervention, one has to consider the aspects that will determine the choice of method, and these are:

The historical-artistic value or interest of the monument and the state of conservation.

Factors relative to the rocks: its physical-chemical nature, texture, technical and petro-physical properties and environmental behaviour in the area where it is located.

Factors relative to the substance to be eliminated: nature, type, extension, and thickness.

Speed of cleaning action so that the worker can control its effects.

The method used must not generate products damaging to the stone and the worker, neither there should be surface modifications that facilitate its deterioration.

There is no universal cleaning product which exists, for each type of material specific products should be used, causing the minimum desegregation of petreo-material and dissolution of cementing agent (Parrot). We will now go to the main methods of cleaning, we will focus on those mechanisms that are the most well known and frequently used.

Mechanical

These techniques separate the dirt of the petreo-material to be cleaned employing the mechanical energy that is generated when projecting abrasives. It is very important that the separation takes place right on the interface dirt - surface of the stone.

Sand jet

This method has, over time, lost prestige because it was used before in an uncontrolled manner and the abrasive particles had angled edges.

La acción mecánica del método es función de:

a.- La partícula abrasiva

tipo: piedra pómez, óxido de aluminio, vidrio y arenas de sílice.

dureza: como mínimo 5 en la escala de Mohs.

forma: esferas, huecas o macizas, y acicular.

tamaño: a mayor finura, mejor penetración y precisión.

b.- El chorro abrasivo

presión y densidad.

tiempo de aplicación.

distancia entre la boca del chorro y superficie a limpiar.

Microchorro de arena

Método muy similar al anterior pero las partículas son de menor dureza y su tamaño es inferior a 60 micras, normalmente son vidrios y óxidos de aluminio. Resulta efectivo para retirar incrustaciones gruesas y duras, costras delgadas y costras negras que recubren piedras con policromías. La principal ventaja que presenta es que la presión del chorro y la cantidad de abrasivo proyectado pueden regularse, por lo que la limpieza es graduable y se puede emplear sobre todo tipo de roca. Como inconveniente hay que destacar su lentitud, la gran cantidad de polvo que desprende, éste ha de recogerse y los aparatos destinados para tal fin son caros, y que el coste del árido también es elevado.

Otros

Aquí se incluyen métodos más sencillos, que pueden ser:

Manuales: espátula, papel de lija, piedra pómez, bisturí, buril, cepillos de bronce y fósforo, papel de vidrio, etc.

Eléctricos: son máquinas giratorias pequeñas provistas de diferentes puntas y perfectamente controlables.

Herramientas neumáticas

La eficacia del método depende de la habilidad del operario; al ser un método lento se utiliza para piezas de pequeñas dimensiones.

The mechanical action of the method is a function of:

a. - The abrasive particle

type: pumice stone, aluminium oxide, glass and sand.

strength: minimum 5 in the Mohs scale.

form: spheres, hollow or solid

size: the thinner it is, better penetration and precision.

b. - The abrasive jet.

pressure and density

application time.

distance between mouth of the jet and the surface to be cleaned.

Micro-jet of sand

Method very similar to the previous one but the particles are of less strength and their size is less than 60 micras, they are normally of glass and aluminium oxides. They are very effective for removing thick and strong incrustations, thin crusts and black crusts which cover stones with polychromes. The main advantage is that the jet pressure and the quantity of abrasive projected can be regulated, thus the cleaning can be regulated and can be used on all types of rocks. An inconvenience is that it is slow, a lot of dust is taken out which has to be collected and the apparatus destined for this end is expensive, and the cost of sand is also high.

Others

Here other simple methods are included, which can be:

Manual: sandpaper, pumice stone, knife, bronze and phosphorous brushes, glass paper, etc.

Electric: these are small rotating machines equipped with different points and perfectly controlled.

Pneumatic tools.

The efficiency of the method depends on the skill of the worker, and being a slow method it is used for pieces of small dimensions.

Especiales

Son técnicas que todavía están en experimentación y a pesar de haberse comprobado en numerosas ocasiones su efectividad, no siempre es fácil acceder a las mismas. Entre las más importantes, las microondas, el ultrasonido y el Láser, es ésta última la técnica que está en pleno auge.

Láser

El láser se caracteriza por mantener su intensidad constante, no dispersándose la radiación, coincidir sus ondas en fase y ser una radiación monocromática. Como en cada pulso la energía que se libera es muy baja y la duración del haz luminoso muy breve, el material no se calienta; además, la amplitud de la onda es tal que se propaga por la piedra sin alterarla.

Ha resultado ser muy efectivo para pulverizar costras negras producidas por contaminación ambiental, liberándolas al producir una micro-resonancia mecánica en la superficie de la piedra. A pesar de ser un método que no reviste daños para la piedra y que puede emplearse incluso sobre soportes no consolidados, ha de utilizarse con mucho cuidado y precaución.

Químicos

Productos tensioactivos, limpiadores alcalinos, limpiadores ácidos y disolventes orgánicos.

Acuosos

Chorro de agua a baja y alta presión, agua en forma de vapor, agua nebulizada y agua aplicada con emplastos o apósitos.

2.- PROTECCIÓN - CONSERVACIÓN: CONSOLIDANTES E HIDROFUGANTES

Tras la limpieza, la acción de los agentes de alteración continúa modificando el sistema poroso de las rocas y su capacidad de absorción de agua. El producto empleado ha de evitar la

Specials

These are techniques which are still being experimented and in spite of their effectiveness having been proved, they are not yet easily available. Among the most important ones are, the microwaves, the ultrasound, and the laser, the last one being a technique the use of which is on the rise.

Laser

Laser is characterised by its constant intensity, the radiation not being dispersed, the waves coinciding in phase and that it is a monochromatic radiation. Since in each pulse the energy that is liberated is very low and the duration of light rays is very short, the material does not become hot; moreover, the wavelength is such that it propagates on the stone without altering it.

It has resulted as being very effective for pulverising black crusts produced from environmental contamination, liberating them when mechanical micro-resonance is produced on the surface of the stone. In spite of being a method that does no damage to the stone and which can also be used over not consolidated supports, it needs to be used with great care and precaution.

Chemical

Tensioactive products, alkaline cleaners, acid cleaners and organic solutions.

Water based

Waterjet at low and high pressure, water in the form of vapour, cloudy water and water applied with poultice.

2.- PROTECTION - CONSERVATION: CONSOLIDATORS AND WATER REPELLENTS

After the cleaning, the action of the agents of alteration continues to modify the porous system of the rocks and its capacity of water absorption. The product employed must avoid

acción degradante del agua sobre la roca, creando una barrera impermeable al agua pero permeable al vapor de agua.

Diversos autores indican que los tratamientos han de aplicarse cuando la roca esté bien seca, deben penetrar hasta la roca sana, recubriendo paredes de poros y fisuras, ser reversibles y adherirse al sustrato, no deben generar subproductos nocivos como sales, modificar sustancialmente el sistema poroso del material original ni su permeabilidad al vapor de agua, para permitir la respiración de la roca. También hay que tener en cuenta la incidencia cromática (suelen ser transparentes para no modificar el color y brillo natural de la piedra), su caducidad, toxicidad, resistencia a ácidos, álcalis y radiación ultravioleta, facilidad de manejo y coste económico (Carbonell de Massy, 1993; Esbert et al., 1997; Fort, 1996b).

Como el producto ideal no existe, la mayoría de las veces es necesario adoptar una solución de compromiso que menos dañe la roca. El comportamiento y eficacia del tratamiento depende de la porosidad de la roca, del ensayo a realizar y del propio producto.

Consolidación

Con esta actuación se pretende mejorar la resistencia mecánica de la roca, aumentando la cohesión de los granos de la zona superficial y evitando su desprendimiento. El consolidante debe aplicarse en capas, con mucho cuidado de no formar una capa más dura y resistente que el sustrato pétreo y que se desprenda.

Para conseguir una buena penetrabilidad y adherencia entre la parte deteriorada y la sana, el consolidante ha de ser líquido, poco viscoso, tener una baja tensión superficial y solidificarse en el interior de la roca. Existen dos grupos de productos:

Inorgánicos:

resisten mejor a la intemperie. La cal artesanal y cargas inertes minerales se han empleado para disminuir el exceso de porosidad. Ahora se utilizan los silicatos de etilo, éstos forman un gel

the degrading action of water on the rock, creating an impermeable barrier to water but permeable to water vapour.

Different authors indicate that the treatments have to be applied when the rock is dry, they should penetrate right up to the rock that is sane, covering walls of pores and fissures, should be reversible and adhere to the substrate, they should not generate harmful sub-products such as salts, modify substantially the porous system of the original material and neither its permeability to water vapour, so as to permit the respiration of the rock. One should also take into account the chromatic incidence (they are usually transparent so as not to modify the colour and natural shine of the stone), the expiry date, toxicity, resistance to acids and alkaline and ultraviolet radiation, ease of handling or the economic cost (Carbonell de Massy, 1993; Esbert et al., 1997; Fort, 1996b).

Since the ideal product does not exist, a majority of the times it is necessary to adopt a compromise solution that does least damage to the rock. The behaviour and efficiency of treatment depends on the porosity of the rock, of the tests to be done and the product itself.

Consolidation

With this action the aim is to improve the mechanical resistance of the rock, increasing the cohesion of the grains of the surface area and avoiding its coming apart. The consolidator should be applied in layers, taking care not to form a much stronger and resistant layer than the petreo substrate and which comes apart.

To achieve a good penetration and adherence between the deteriorated part and the sane one, the consolidator should be liquid, not viscous, have low surface tension and solidify in the interior of the rock. Two groups of products exist.

Inorganic:

they resist the harsh weather better. The calcium and inert mineral loads have been employed so as to diminish the excess of porosity. Nowadays the ethil silicates are used, these

de sílice al reaccionar con la piedra que se deposita en las paredes de los macroporos. Se ha comprobado su efectividad en las areniscas, pero no presentan buena adherencia en materiales calcáreos.

Orgánicos:

presentan mejores características mecánicas y penetrabilidad. Se han utilizado ceras sintéticas como la parafina, y resinas. Los productos más novedosos son polímeros termoplásticos, también con propiedades hidrofugantes.

Hidrofugación

Consiste en aumentar la resistencia a la penetración del agua y no en impermeabilizar. Los productos llamados hidrofugantes o hidrorrepelentes, en estado líquido rellenan poros y secos forman una película repelente que aísla la superficie de la roca. En la interfase entre un sólido y un líquido se crea el ángulo de contacto; si el valor del ángulo se encuentra comprendido entre $0-90^\circ$ (ver Fig. 4a), el líquido mojará

form a silicon gel when reacting with the stone that is deposited on the walls of the macropores. Their effectiveness in sandstone has been proved, but they do not have good adherence on calcium-based materials.

Organic:

they present better mechanical characteristics and permeability. Synthetic waxes such as paraffin and resins have been used. The latest products to be used are thermoplastic polymers; they also have water-repelling properties.

Water repellents

These serve to increase the resistance to penetration of water and not in making it waterproof. The products called water repellents, in liquid state fill the pores and on drying form a repelling layer that insulates the surface of the rock. In the interphase between a solid and liquid an angle of contact is created; if the value of the angle is between $0-90^\circ$ (see Fig. 4^a), the liquid wets the solid, and between $90-180^\circ$

Fig. 4.- Ángulo de contacto (θ) creado en la interfase roca-agua.

a: valor comprendido entre 0 y 90° .

b: entre 90 y 180° .

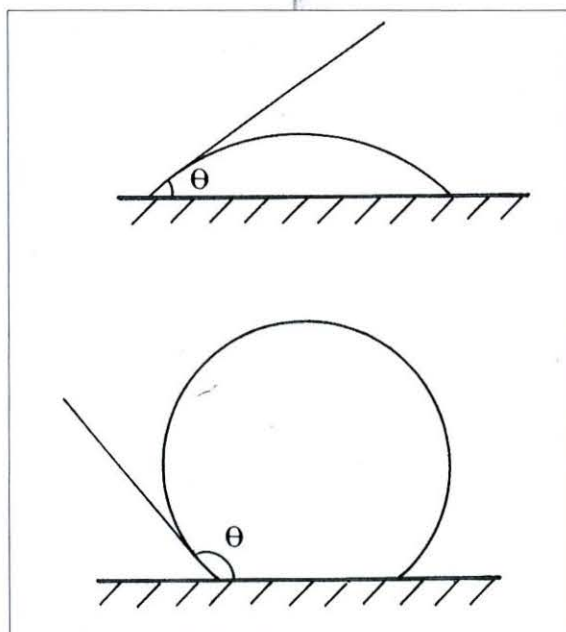


Fig. 4.- Angle of contact (θ) created in the interphase rock-water.

A: value between 0 and 90° .

B: 90 and 180° .

al sólido, y entre $90-180^\circ$ (ver Fig. 4b), el líquido se comportará como no humectante. Con los hidrofugantes se pretende que el ángulo de contacto entre la gota de agua y la superficie tratada sea lo mayor posible.

(see Fig. 4b), the liquid behaves as if it does not wet. With the water repellents the aim is that the angle of contact between the drop of water and the surface be the greatest possible.

Los hidrofugantes más empleados son los siloxanos, siliconas que al evaporarse el disolvente polimerizan y se transforman a polisiloxanos. Para evaluar su efecto hidrófugo se ha de conocer el valor del ángulo de contacto piedra-agua.

3.- RESTAURACIÓN: REINTEGRACIÓN Y SUSTITUCIÓN

Esta intervención se hace necesaria cuando el grado de alteración de una roca es tal como para que una limpieza o consolidación no pueda mejorar su estado. En esta tercera etapa la localización de canteras juega un papel muy importante, llegando incluso a estar algunas protegidas, es una tarea difícil que no asegura resultados siempre positivos. Aquí siempre aparece el mismo conflicto ya que el nuevo material ha de tener un aspecto y características similares al original, pero a la vez ser lo suficientemente distinto como para reconocer la restauración realizada.

Antiguamente, los factores que determinaban la utilización de una u otra roca eran la cercanía y facilidad de labra del material; puede ser que la cantera suministradora de material original esté agotada o que no la identifiquemos porque esté cubierta, entonces debemos buscar otra cantera que proporcione material de la misma formación geológica con la ayuda de fotos aéreas, mapas geológicos, geotécnicos y de rocas industriales. Además, la localización de nuevo material es esencial para realizar ensayos porque en numerosas ocasiones no podemos extraer muestras de la construcción a restaurar. Estos ensayos permiten conocer si el nuevo material acelerará el deterioro del antiguo, seleccionar la variedad pétreo más idónea para cada ambiente y evaluar cómo evolucionarán los distintos tratamientos que sobre ella posteriormente se apliquen.

Podemos conocer el grado de deterioro y las posibles causas de alteración atendiendo a las diferencias existentes entre las piedras del monumento y las de la cantera de procedencia (Fort, 1996a).

Los morteros utilizados en esta etapa han de tener un aspecto, resistencia mecánica y

The water repellents most used are of silicon, which when evaporating the solutions become polymers and transform into polysiloxans. To evaluate the repellent effect one needs to know the value of angle of contact stone-water.

3.- RESTORATION: REINTEGRATION AND SUBSTITUTION

This intervention is made necessary when the degree of alteration of a rock is such that cleaning or consolidation does not improve its state. In this third stage the location of quarries plays an important role, so much that some are protected, but it is a difficult task that does not always ensure positive results. Here the same conflict appears since the new material has to have an aspect and characteristics similar to the original, but at the same time sufficiently distinct so that the restoration realised is recognisable.

Previously, the factors that determined the use of one or the other rock were the proximity and the ease with which the material could be worked upon; it would be that the quarry supplying the original material has exhausted or that we cannot identify it because it is covered, we then have to look for another quarry that can provide the material of the same geological formation with the help of aerial photos, geological maps, geo-techniques, and industrial rocks. Moreover, the location of the new material is essential for realising tests because in numerous occasions we cannot extract samples of the construction to be restored. These tests allow one to know if the new material accelerates the deterioration of the old one, select the stone variety most adequate for each situation and evaluate how the different treatments which will be applied on it will evolve with time.

We can know the degree of deterioration and the possible causes of alteration attending to the differences existing between the stones of the monument and that of the proceeding quarry (Fort, 1996 a).

The mortars used in this stage have to have an aspect, mechanical resistance and permeability

permeabilidad similares a la piedra. Han de ser lo suficientemente plásticos como para permitir una buena trabajabilidad y evitar tensiones que impidan su adherencia. No pueden modificar la roca, introducir agentes nocivos ni ser de dureza superior a la de la piedra, y siempre han de permitir la respiración de la misma (Carbonell de Massy, 1993; Fort, 1996b).

Normalmente los morteros llevan áridos de la misma piedra de la edificación o pigmentos para imitar el color de la roca; los pigmentos pueden ser naturales o artificiales, los óxidos de hierro son los mejores porque son muy resistentes a la radiación ultravioleta.

A veces el mal radica en la estructura, las armaduras de las estructuras pueden aumentar hasta ocho veces en volumen por corrosión y/u oxidación; para evitar la oxidación, se rellena con plomo fundido el espacio existente entre el vástago de hierro y la piedra, o se sustituyen estos vástagos por varillas de acero o de fibra de vidrio, altamente resistentes.

Reintegración y Sustitución

La primera operación es una delicada intervención consistente en recuperar volúmenes y formas arquitectónicas perdidas en parte o totalmente. En la segunda se cambia la piedra original por otra de aspecto y comportamiento adecuado, pretendiendo elevar la durabilidad del conjunto conservando al máximo el material original.

Ambas operaciones pueden llevarse a cabo con piedra natural o artificial. En la sustitución por roca natural se ha observado que la piedra suele presentar un mejor comportamiento en el lugar donde se ha formado, así las sustituciones de caliza de Colmenar por la piedra Novelda o Bateig en numerosas construcciones de Madrid o las de dolomía de Boñar por caliza de Hontoria en Burgos no han dado el resultado esperado, e igualmente, la arenisca de Villamayor fuera de Salamanca se deteriora con mayor facilidad. Normalmente, la piedra natural se utiliza como sustitutiva de elementos en balaustradas, cornisas, etc. (Fig. 5).

similar to the stone. They have to be sufficiently plastic so as to be easy to work with and to avoid tensions that impede their adherence. They cannot modify the rock, introduce harmful agents and their strength cannot be superior to the stone, and always they must allow its respiration. (Carbonell de Massy, 1993; Fort, 1996b).

Normally the mortars carry grains of the same stone as the building or pigments which imitate the colour of the rock; the pigments can be natural or artificial, the iron oxides are the best because they are highly resistant to ultraviolet radiation.

At times the flaw is in the structure, the framework of the structures can increase by 8 times in volume due to corrosion and/or oxidation; to avoid the oxidation, the space between steel sprout and the stone is filled with cast lead, or these are substituted by steel rods or fibreglass, highly resistant.

Reintegration and substitution

The first operation is a delicate intervention consisting in recovering volumes and architecture forms lost partially or totally. The second is when the original stone is changed for another of adequate aspect and behaviour, and the aim is to raise the durability of the conjunct conserving to the maximum extent possible the original material.

Both operations can be done with natural or artificial stone. In the substitution by natural rock it is observed that the stone tends to behave better in the place where it is formed, which means the substitutes of limestone from Colmenar by that of Novelda or Bateig in numerous constructions, or that of dolomite of Boñar by the limestone from Hontoria in Burgos have not given the expected result, and, equally, the sandstone of Villamayor out of Salamanca has deteriorated with greater ease. Normally, natural stone is used as a substitute of elements in balusters, cornices, etc. (Fig.5).



Foto 5.- Diferentes grados de alteración en los balaustres calcáreos de una escalera. 1: zona de lavado (color claro) y zona de no lavado (color oscuro). 2: sustitución completa del elemento con piedra natural. 3: disolución y pérdida de material. Palacio Real, Madrid (Foto E. Pérez Monserrat).

Photo 5.- Different degrees of alteration in the calcium balusters of a staircase. 1: Area of cleaning (clear colour) and area of no cleaning (dark colour). 2: Complete substitution of element with natural stone. 3: Dissolution and loss of material. Royal Palace, Madrid (Photo: E. Pérez Montserrat).

La sustitución por piedra artificial puede resultar ser muy interesante económicamente si el material empleado tiene las prestaciones adecuadas. Se utilizan materiales inorgánicos, como morteros y cementos, y polímeros orgánicos, cuyo resultado no ha sido el deseado porque con el tiempo se agrietan y acaban separándose del sustrato pétreo. Con piedra artificial también se realizan moldes; normalmente en un molde la pieza es de mortero, y el contramolde de silicona para permitir un ligero movimiento y evitar tensiones que rompan la pieza, una carcasa de poliestireno armado con fibra de vidrio recubre el contramolde.

The substitution by natural stone can result economically very interesting if the material used has the adequate benefits. If inorganic materials are used, such as mortars and cements, and organic polymers, the results of which have not been to the level desired because with time they develop cracks and end up separating from the stone substrate. With artificial stone also moulds are made; normally in a mould the piece is of mortar, and the counter-mould of silicon so as to permit a slight movement and avoid tensions that break the piece, a shell of polystyrene armed with fibreglass covering the counter-mould.

BIBLIOGRAFÍA

- Anguita, F. y Moreno, F. (1993).- Procesos geológicos externos y geología ambiental. Ed. Rueda, 311 pp. Madrid.
- Carbonell de Massy, M. (1993).- Conservación y restauración de monumentos. 168 pp. Barcelona
- Esbert, R.M.; Ordaz, J.; Alonso, F.J.; Montoto, M.; González. Limón, T. y Álvarez de Buergo, M. (1997).- Manual de diagnóstico y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos. Colegio de Aparejadores y Arquitectos técnicos de Barcelona. Colección Manuales de Diagnóstico, vol.5. 139 pp. Barcelona.
- Fort, R. (1996a).- Localización de antiguas canteras utilizadas en el patrimonio monumental. En: "Degradación y conservación del Patrimonio Arquitectónico. Ed. F.Mingarro Martín". Cursos de Verano de El Escorial. Ed. Complutense. 311-316.Madrid.
- Fort, R. (1996b).- La conservación de la piedra monumental. En: "Degradación y conservación del Patrimonio Arquitectónico. Ed. F.Mingarro Martín". Cursos de Verano de El Escorial. Ed. Complutense. 481-492.Madrid.
- Gárate, I. (1994).- Artes de la cal. Ministerio de Cultura. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid. 382 pp. Madrid.
- Martín, A. (1990).- Ensayos y experiencias de alteración en la conservación de obras de piedra de interés histórico artístico. Fund. Ramón Areces. 609 pp. Madrid
- Parrot, J. (1990).- La limpieza y protección de la piedra natural. RocMáquina, 12, 41-44. Bilbao.